

小陇山林区强降雨径流过程分析

杨海裕^{1,2}, 张宋智^{1,2}, 刘小林^{1,2*}, 蔺岩雄^{1,2}, 袁一超^{1,2}

(1. 甘肃省小陇山林业科学研究所, 甘肃 天水 741022; 2. 甘肃省小陇山森林生态系统定位研究站, 甘肃 天水 741022)

摘要:为探讨在小陇山林区强降雨过程中地表径流的形成过程及其变化特征,利用实际观测资料分析了2次强降水径流过程。结果表明,由于2次降雨量和降水强度的不同,测流堰水位和流量有所不同,洪峰出现时间也不同。第1次降雨量为68.0 mm,降雨历时9.50 h,水位最高1.039 m,集水区径流最大值滞后于降雨峰值2.66 h,该集水区共计降水97 043.698 m³,通过测流堰流出73 908.525 m³;第2次降雨量为121.0 mm,降雨历时7.00 h,水位最高1.321 m,集水区径流最大值滞后于降雨峰值5 h,该集水区共计降水178 389.2 m³,通过测流堰流出158 735.73 m³。

关键词:小陇山;落叶阔叶林;降雨量;U型测流堰;水位;径流过程

中图分类号:S715.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)03-0027-04

Runoff Process of Strong Rainfall in Xiaolongshan Forest Region

YANG Hai-yu^{1,2}, ZHANG Song-zhi^{1,2}, LIU Xiao-lin^{1,2*}, LIN Yan-xiong^{1,2}, YUAN Yi-chao^{1,2}

(1. Research Institute of Xiaolongshan Forest Science and Technology, Tianshui, Gansu 741022, China;

2. Forest Ecosystem Locational Research Station in Xiaolongshan, Tianshui, Gansu 741022, China)

Abstract: In order to understand the forming process and the change characteristics of the surface runoff during strong rainfall process in the Xiaolongshan Forest Region, by using the observation data, the runoff process of different rainfall intensities were analyzed. The results showed that: as a result of two different rainfall amounts and rainfall intensities, the weir water level and flow were all different and the flood peaks were also different. The first rainfall amount was 68.0 mm, which lasted 9.50 h and highest water level was 1.039 m, the max runoff of the catchment was 2.66 h later than the rainfall peak. The total precipitation of the catchment was 97 043.698 m³ and flowed out 73 908.525 m³ through the weir. The second rainfall amount was 121.0 mm, which lasted 7.00 h and highest water level was 1.321 m, the max runoff of the catchment was 5 h later than the rainfall peak. The total precipitation of the catchment was 178 389.2 m³ and flowed out 158 735.73 m³ through the weir.

Key words: Xiaolongshan; deciduous broadleaved forest; rainfall; U-type weir; water level; runoff process

森林水文特征是森林生态系统定位研究的主要内容之一^[1-3]。对森林水文生态功能的研究有利于全面了解森林生态系统的功能过程^[4-7]。自20世纪以来,世界各国研究工作者从多方面对森林水文作用进行了探索,取得了许多重要研究成果。以流域为单元研究森林对河川径流的影响始于19世纪后期。1900年在瑞士的Bemese Emmental地区对2

个集水区中水文对降雨的反应进行了比较^[8],其中一个集水区是Sperbelgraben(99%为森林),另一个是Rappengraben(69%为牧地,31%为森林),比较结果表明,在Sperbelgraben集水区洪水流量和每年产水量虽然比后者低,但基流却比后者高,河床侵蚀是Rappengraben的1/2,山体滑坡几乎不发生^[9]。20世纪60年代,美国生态学家Bormann和

收稿日期:2011-06-01 修回日期:2011-07-29

基金项目:林业公益性行业科研专项(200804022)。

作者简介:杨海裕,男,工程师,主要从事森林水文研究。E-mail:yanghy3866@163.com

* 通讯作者:刘小林,男,高级工程师,主要从事森林生态研究。E-mail:LiuxL.99@163.com

Likens 提出了森林小集水区技术,开创了森林生态系统研究和森林水文学研究相结合的先河^[10]。

我国森林集水区研究开始于 20 世纪 60 年代^[11],研究的内容主要侧重于探讨森林植被覆盖率变化与流域径流量变化的关系,包括植被覆盖率变化对年径流量及其季节分配、洪水量、洪水过程、径流组合变化等方面^[12-15]。而对于秦岭西段小陇山天然次生林林区水文特征研究,目前报道尚少。

本研究通过对 2010 年 7 月 24 日和 8 月 12 日 2 次强降雨径流过程的分析,旨在探讨小陇山林区森林生态系统的水文生态功能及作用,为正确评价阔叶林区森林水文生态效益研究提供数据支撑和理论依据。

1 研究区概况

研究区位于甘肃省东南部、地处秦岭西段的小陇山林区,地跨天水、陇南、定西 3 市 8 县区,地理坐标:104°23'~106°43'E、33°31'~34°41'N,区域总面积 83 万 hm²,其中林业用地 70.6 hm²,占总面积的 85.1%;农田占 21.1%,水域占 0.4%。该区是长江流域与黄河流域的分水岭,是我国华北、华中、喜马拉雅、蒙新四大自然植被区系的交汇处,植物种类繁多、茂密,是温带向亚热带过渡的植物基因库,有木本植物 800 多种,草本植物 1 986 种,珍贵树种 30 余种;同时是嘉陵江、渭河中上游重要的水源涵养林和甘肃省东南部重要的生态屏障,也是兼有我国南北气候特点的典型天然次生林区。

集水观测区位于甘肃省小陇山林业科学研究所沙坝实验基地乱石窖沟,面积 142.64 hm²。地理坐标:105°54'E、34°07'N,地处小陇山林区中心地带,海拔在 1 550~1 900 m 之间。地形地势起伏小,平均坡度 36°~40°。河流属于长江流域,嘉陵江水系。该试验区有高等植物 163 种,其中乔木层 48 种,灌木层 59 种,草本层 55 种。乔木层以锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)为优势种,四照花(*Cornus kousa* var. *chinensis*)、灯台树(*Comus controversa*)、水榆花楸(*Sorbus alnifolia*)、千金榆(*Carpinus cordata*)、多毛樱桃(*Cerasus polytrichia*)为主要伴生树种;灌木层以白檀(*Symplocos paniculata*)、平榛(*Corylus heterophylla*)为优势种;草本层以羊胡子草(*Carex lanceolata*)堇菜(*Viola verecunda*)为主^[16]。

2 方法

2.1 降雨动态观测

在观测区布置地面标准气象站一座,Geonica 自动气象站和 SquirrelView 气象站各一座。自动

数据采集器每 10 min 采集 1 次数据,长期采集不同深度(5、10、20、40 cm 和 60 cm)土壤温度、大气降水、温度、湿度等环境因子。

2.2 径流动态观测

在集水区出口设 U 型测流堰 1 座^[17],采用美国产 HOBO 压力式自记水位计采集数据(每隔 10 min 记录 1 次)。U 型测流堰喉道宽在 0.5~1.5 m 时,根据以下径流量公式^[18]和集水区面积计算出集水区的实时径流量:

$$Q=2.4 \times W \times H_a^{1.57}$$

其中:Q 为 U 型测流堰流量 (m³·s⁻¹);W 为 U 型测流堰喉道宽(m);H_a 为水位(m)。

3 结果与分析

3.1 降雨动态过程

依据 Geonica 自动气象站的降雨量数据,2010 年全年降雨量 951.5 mm。7 月份和 8 月份降雨量分别为 231.9 mm 和 325.9 mm。其中 7 月 24 日 14:00—23:30 强降雨历时 9.50 h,降雨量为 68.0 mm,占本月总降雨的 29.3%;8 月 12 日 1:20—8:20 强降雨历时 7.00 h,降雨量为 121.0 mm,占本月总降雨的 37.1%。全年降雨主要集中在 7、8、9 月,占全年降雨量的 69.2%(图 1)。

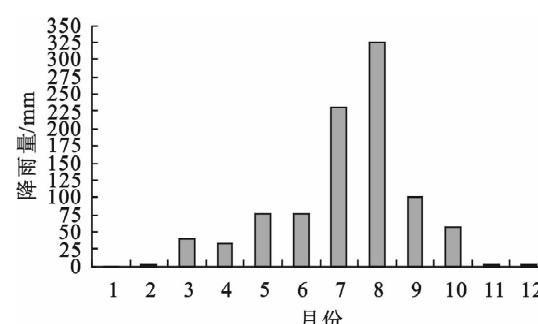


图 1 2010 年各月降雨量

Fig. 1 Monthly rainfall in 2010

3.2 集水区径流动态过程

依据 HOBO 压力式自记水位计观测数据(图 2、图 3),7 月 24 日 14:00—23:30 连续降雨过程中,测流堰 14:00 水位 0.134 m,流量为 0.15 m³·s⁻¹,16:40 水位达到最高 1.039 m,流量为 3.90 m³·s⁻¹。集水区此次共降水 97 043.698 m³,通过测流堰流出 73 908.525 m³,流出的水量占这次总降水的 76.2%。

8 月 12 日 1:20—8:20 连续降雨过程中,测流堰 1:20 水位 0.119 m,流量为 0.125 m³·s⁻¹,6:30 水位达到最高 1.321 m,流量为 5.70 m³·s⁻¹。集水区此次降水共 178 389.15 m³,通过测流堰流出 158 735.73 m³,流出的水量占这次总降水的 89.0%。

3.3 集水区降雨与径流动态分析

3.3.1 “7.24”强降雨 7月24日降雨过程历时9 h 30 min(图2),降雨量为68.0 mm,连续降雨量达到23.3 mm时,测流堰水位开始升高,15:50降雨强度达最大值($69.6 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$),测流堰水位升至0.644 m,16:40连续降雨量达到56.5 mm时,水位到最大值1.039 m,流量为 $3.90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,洪峰出现,此时测流堰的流量达 $10\ 328.37 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 。该次强降雨过程,集水区径流最大值滞后于降雨峰值2 h 40 min。水位从开始上涨到恢复至原水位,历时44 h。

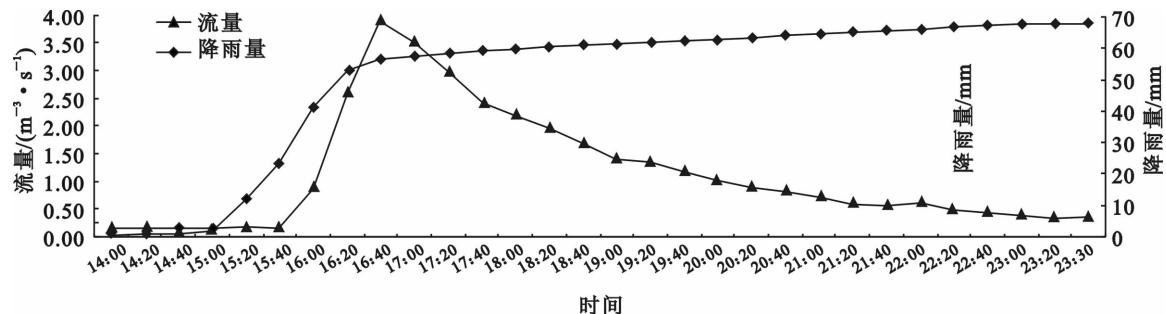


图2 7.24降雨量—流量曲线图

Fig. 2 The rainfall and flow on July 24

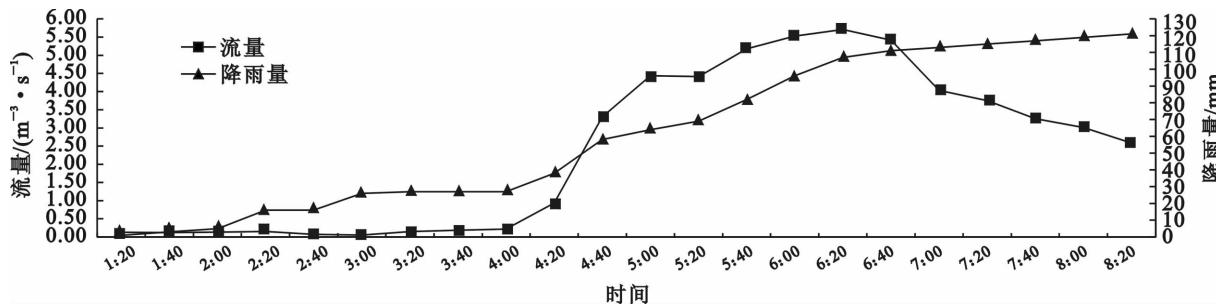


图3 8.12降雨量—流量曲线图

Fig. 3 The rainfall and flow on August 12

3.4 集水区森林植被对降雨径流的影响

森林植被的水文功能不仅表现在降雨产流量上,而且还表现在降雨径流过程中,特别是对暴雨洪水的影响,森林植被的调蓄作用更为明显^[19]。该研究区为天然次生落叶阔叶林,森林覆盖率为80%。两次强降雨,大部分形成地表径流,仅部分降雨经树冠、枯枝落叶层截留和土壤所吸收。森林植被具有涵养水源、调节洪水的功能,使得径流最大值滞后于降雨峰值。

4 结论与讨论

2次强降雨,7月24日降雨量为68.0 mm,降雨历时9.50 h。连续降雨量达56.5 mm时,测流堰水位达到最大值1.039 m,此时的流量为 $3.90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。 8 月 12 日降雨量为121.0 mm,降雨历时7.00 h,连续降雨量达到107.0 mm时,测流堰水位达到最大值1.321 m,此时的流量为 $5.70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3.3.2 “8—12”强降雨 8月12日降雨过程历时7 h,降雨量为121.0 mm(图3)。在连续降雨量达到27 mm时,测流堰水位开始升高;4:30降雨强度达最大值($66.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$),测流堰水位升至0.644 m;6:20连续降雨量达到107.0 mm时,水位到最大值1.321 m,流量为 $5.70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,洪峰出现,此时测流堰的流量为 $18\ 453.26 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 。本次强降雨过程,集水区径流最大值滞后于降雨峰值5 h。水位从开始上涨到恢复至原水位,历时104 h。

由于降雨量和降雨强度不同,2次强降雨过程洪峰出现的时间不尽相同,第1次在开始降雨后2.66 h,水位最高达到1.039 m,形成洪峰;第2次在开始降雨后5 h,水位最高达到1.321 m,形成洪峰。森林植被具有涵养水源、调节洪水的功能。2次降雨,为天水地区历史罕见的连续性暴雨天气过程,由于其降雨历时短,强度大,形成洪水,对河川径流影响较大,应引起关注,使资源与环境和谐发展。

通过测流堰的试验数据,初步探讨和分析了小陇山阔叶林区强降雨径流动态变化过程。由于土壤前期水分状态对降雨-径流关系影响显著^[6],利用实时监测获得的落叶阔叶林集水区径流数据和降雨量数据,对集水区径流与降雨过程的动态关系进行了初步的分析,尚未对森林生态系统不同效应层次滞留及森林降水的再分配进行深入研究。在后续的研究中,将从对比分析不同前期含水量、不同雨量条件下土壤水分收支变化的角度来探讨次生林径流过

程,从而进一步研究天然次生林水源涵养机制,森林在减缓气候变化中的作用^[20-21],为森林可持续经营和管理提供科学依据。

参考文献:

- [1] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1994.
- [2] 刘世荣,温远光,王兵,等. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- [3] 王兵,崔相慧,白秀兰,等. 大岗山人工针阔混交林与常绿阔叶林水文动态变化研究[J]. 林业科学研究,2002,15(1):13-20.
WANG B,CUI X H,BAI X L,*et al.* Study on the hydrology dynamics of needle-broad leaved mixed plantation and evergreen broad-leaved forest in Dagangshan[J]. *Scientia Silvae Sinicae*,2002,15(1):13-20. (in Chinese)
- [4] 杨新兵,余新晓,孙庆艳,等. 植被对流域水文特征响应研究[J]. 水土保持学报,2007,21(3):170-173.
YANG X B,YU X X,SUN Q Y,*et al.* Study on response of vegetation to watershed hydrological characteristics[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*,2007,21(3):170-173. (in Chinese)
- [5] 杨新兵,余新晓,武军,等. 密云水库集水区森林的水文作用——以北庄小流域为例[J]. 中国水土保持科学,2007,5(5):75-78.
YANG X B,YU X X,WU J,*et al.* Forest hydrology function of the Miyun Reservoir watershed—a case study of Beizhuang small watershed[J]. *Science of Soil and Water Conservation*,2007,5(5):75-80. (in Chinese)
- [6] 王小明,周本智,钟绍柱,等. 不同降雨条件下天然次生林水文过程动态分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2010,36(6):57-60.
WANG X M,ZHOU B Z,ZHONG S Z,*et al.* Dynamic analysis of hydrological processes of natural secondary forest in different rainfall conditions[J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Humanities and Social Sciences Edition*,2010,36(6):57-60. (in Chinese)
- [7] 范世香,程银才,高雁,等. 考虑森林植被影响的小流域降雨径流模型[J]. 生态学报,2008,28(5):2372-2380.
FAN S X,CHENG Y C,GAO Y,*et al.* A rainfall-run off model associated with forest vegetation in a small watershed[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2008,28(5):2372-2379. (in Chinese)
- [8] ENGLER A. Underauchungen ther den einfluss des waldes auf den stand der gewasser[J]. *Mitt. Eidg. Anst. Forst. Versuehswes*,1919,12;1-626.
- [9] BURGE H. Einfluss des waldes auf den stand der gewasser II itteilung der wassethaushah im sperbe-und rappengraben von 1915/16 bia1926/27[J]. *Miss. Eidg. Anst. Forest. Versuehswes*,1934,18:311-416.
- [10] BOSCH J M,HEWLETT J D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield ang evapotranspiration[J]. *J. Hydrol.*,1982,55:3-23.
- [11] 王德连,雷瑞德,韩创举. 国内外森林水文研究现状和进展[J]. 西北林学院学报,2004,19(2):156-160.
WANG D L,LEI R D,HAN C J. A review on current situation of forest hydrology research and its advances[J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2004,19(2):156-160. (in Chinese)
- [12] 郭渠,程炳岩,孙卫国,等. 长江上游地区可利用降水量的气候特征[J]. 湖泊科学,2011(1):112-121.
GUO Q,CHENG B Y,SUN W G,*et al.* Climatic features of utilizable precipitation in the upper Yangtze River[J]. *Lake Sci.*,2011(1):112-121.
- [13] 吴昌广,林德生,肖文发,等. 三峡库区降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 应用生态学报,2011,22(1):151-158.
WU C G,LIN D S,XIAO,*et al.* Spatiotemporal distribution characteristics of rainfall erosivity in Three Gorges Reservoir Area[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2011,22(1):151-158. (in Chinese)
- [14] 张荔,郝利霞,巩文霞. 降雨对渭河流域陕西片径流的影响鉴别[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(6):30-33.
ZHANG L,HAO L X,GONG W X. Identification of the impact of rainfall on runoff in Weihe River Basin in Shaanxi[J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*,2010,21(6):30-33. (in Chinese)
- [15] 赵静,青泉,顾清源. 一次对流性强降雨过程的雷达特征分析[J]. 高原山地气象研究,2010(2):46-50.
ZHAO J,QING Q,GU Q Y. Analysis on radar characteristics in a convective rain process[J]. *Plateau and Mountain Meteorology Research*,2010(2):46-50. (in Chinese)
- [16] 安定国. 甘肃省小陇山高等植物志[M]. 兰州:甘肃民族出版社,2002.
- [17] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京:中国林业出版社,1993.
- [18] 欧阳竹,孙波,刘健. 陆地生态系统水环境观测规范[M]. 北京:中国环境科学出版社,2007:104-106.
- [19] 魏晓华,李文华,周国逸,等. 森林与径流的一致性与复杂性[J]. 自然资源学报,2005,20(5):127-136.
WEI X H,LI W H,ZHOU G Y,*et al.* Consistence and complexity of forests and runoff[J]. *Journal of Natural Resources*,2005,20(5):127-136. (in Chinese)
- [20] 张建军,朱金兆. 晋西黄土区坡面水土保持林地产流产沙的观测分析[J]. 北京林业大学学报,1996,18(3):14-20.
ZHANG J J,ZHU J Z. Analysis on the runoff and sediment yields of soil and water conservation forests on Loess Slope in the west of Shanxi Province[J]. *Journal of Beijing Forestry University*,1996,18(3):14-20. (in Chinese)
- [21] 李剑泉,李智勇,易浩若. 森林与全球气候变化的关系[J]. 西北林学院学报,2010,25(4):23-28.
LI J Q,LI Z Y,YI H R. Interaction relation between forest and global climate change[J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2010,25(4):23-28. (in Chinese)